DIE VERKIESELUNG LEBENDER ELEMENTARORGANE BEI DEN PFLANZEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT WÜRZBURG

VORGELEGT

VON

SPYRIDON MILIARAKIS

AUS

ATHEN.

WÜRZBURG

BECKER'S UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKEREI

1884.

Herrn Geh. Rath

Professor Dr. Julius von Sachs

in Verehrung und

Dankbarkeit

gewidmet.

Die Verkieselungen lebender Pflanzenzellen sind schon Gegenstand der Untersuchung von mehreren Forschern seit Anfang unseres Jahrhunderts gewesen. Saussure war der erste, der seine Aufmerksamkeit darauf richtete. Niemand aber bis zum Jahre 1861 hat diese Erscheinung so eingehend und kritisch behandelt als Hugo von Mohl. Seitdem der genannte Forscher seine Untersuchungen über die Kieselskelete lebender Pflanzenzellen veröffentlichte [1]) und seitdem Julius Sachs ein Jahr später die Unhaltbarkeit der bis dahin geltenden Meinung über die physiologische Bedeutung der Kieselsäure bei den Pflanzen als Festigkeitsmittel nachgewiesen und durch andere Ideen ersetzt und bereichert hat [2]), können wir sagen, sind unsere Kenntnisse nicht wesentlich erweitert worden.

Eine kurze geschichtliche Uebersicht der Arbeiten über die Verkieselungen bei den Pflanzen in den letzten

---

[1]) Ueber die Verkieselungen lebender Pflanzenzellen. Botan. Zeitung 1861 No. 30. — In dieser Abhandlung findet man auch die älteren Litteraturangaben angegeben und kritisch beleuchtet.

[2]) Ergebnisse einiger neueren Untersuchungen über die in Pflanzen enthaltene Kieselsäure. Flora 1862 No. 3, 4, 5 und 8.

zwei Decennien seit Hugo von Mohl's gründlichen Untersuchungen, soll nun die heute darüber herrschenden Meinungen klar legen.

Die Verkieselungen kommen nach H. v. Mohl bei allen Klassen des Pflanzenreichs vor, genauer sind sie bei 42 Familien untersucht. Besonders reich an Kieselsäure sind, ausser den Diatomeen, die Equisetaceen, die Gramineen, Moreen, Urticaceen etc. bei welchen die Verkieselung als ein Familiencharakter hervortritt. Ausserdem aber trifft man Verkieselungen auch bei anderen Pflanzen z. B. Deutzia scabra Thb., Davilla, Magnolia L., Calamus L. u. s. w. Aus der Verkieselung einer Pflanze können wir aber nicht auf den Kieselsäuregehalt der verwandten Pflanzen schliessen, mit Ausnahme der oben genannten Familien.

Die Verkieselung tritt hauptsächlich an den Blättern und der Rinde hervor, indem sie entweder nur die obere Fläche der Blätter einnimmt, oder auch die untere, die sich dann schwächer zeigt. Die Verkieselung der Blätter erstreckt sich entweder auf deren ganze Oberfläche (Gramineen) oder ergreift nur die Haare (Urtica dioica) oder schreitet auch um die Basis der Haare fort, Scheiben bildend, die manchmal auch mit blossem Auge zu sehen sind (Humulus, Boragineen). Selten erstreckt sie sich auch auf die Mesophyllzellen oder die Gefässe der Blätter. Eine Beziehung zwischen Verkieselung der Epidermiszellen und der Gefässe existirt nicht.

Die frühere Meinung, dass die Kieselsäure auf die Wände der Zellen unter der Form von Schuppen, Körnern oder Nadeln abgelagert sei, oder dass sie eine Umhüllung um die Zelle bilde, wurde von H. v. Mohl als unrichtig

abgewiesen. Nach ihm besteht die Verkieselung gewöhnlich in einer Imprägnation der Zellhäute mit Kieselsäure, oder in der Ablagerung von Kieselmasse innerhalb der Zelle, oder es findet beides zugleich statt. Diese Imprägnation ergreift entweder die ganze Haut der Zelle, oder nur eine ihrer Flächen oder tritt auch örtlich in einem kleinen Theil derselben auf (Scirpus palustris L. und Sc. mucronatus L.). Zu den örtlichen Verkieselungen gehören auch die der Cystolithenstiele und die der cystolithenähnlichen Hervorragungen der Zellenwände einiger Boragineen, Compositen.

Den Verkieselungsprocess hat also H. v. Mohl als eine secundäre Einlagerung in eine organische Grundlage betrachtet, als eine Durchdringung der Zellhaut mit Kieselsäure, hauptsächlich der Cuticula, und zwar ihrer äussersten Schichte, auf die gleiche Weise wie auch andere Salze des Kalks und der Alkalien mit der organischen Substanz verbunden sind. Dieser Zusammenhang der Kieselsäure mit den Zellhäuten ist aber so fest, dass wir, wenn wir die organische Substanz verbrennen, ein Skelet der Zelle bekommen, mit ihrer Form, ihren Streifungen, Porenkanälen, spiralförmigen Verdickungen etc.

Die Kieselskelete wirken nach Mohl auf polarisirtes Licht in demselben Sinne wie die Zellhaut selbst.

Die Kieselsäure lagert sich sehr frühzeitig in den Elementarorganen der Pflanzen ab, obschon die jungen Blätter ärmer an Silicium sind. Mit dem Alter der Pflanzen steigt auch ihr Kieselsäuregehalt. Die Zellen, indem sie sich verkieseln, hören nicht auf zu leben, obschon wir annehmen können, dass sie in ihren Funktionen

etwas gestört werden. Man kann eine Zelle nicht als todt betrachten, in welcher das Protoplasma noch in Bewegung begriffen ist. Anders aber verhält sich die Sache in den Fällen, wo Silicium auch im Innern der Zellen in festen Massen sich ablagert (Cautorinde). Hier handelt es sich um andere Processe.

Das sind in Kürze die anatomischen Hauptergebnisse von H. v. Mohl über die Form und die Art und Weise der Ablagerung und die Beziehungen der Kieselsäure zum Leben der Pflanzen.

Wilh. Wicke[1]) hat nach H. v. Mohl die Frage der Verkieselungen zum Gegenstand der Untersuchung gemacht. Er hat seine Aufmerksamkeit vorwiegend auf die Verkieselungen der Rinde von verschiedenen Bäumen gerichtet, besonders von der der Buche, bei welcher er nicht nur die äusserste Rindenschicht über den ganzen Stamm, sondern auch die jüngsten Zweige vollständig verkieselt fand. Das findet sich aber nur bei diesem Baum, denn die Verkieselungen, die er an anderen Bäumen fand, waren nicht zusammenhängend. Bei den Eichen und Castanien z. B. treten verkieselte Zellen und Zellenpartien auf, nicht aber auch eine verkieselte äusserste Schicht.

Wicke ist der Meinung, dass nur abgestorbene Zellen verkieseln können. Was den physiologischen Zweck der Kieselsäure bei den Pflanzen anbelangt, ist er, indem er jede Bedeutung derselben zur Bildung or-

---

[1]) Seine erste Abhandlung: Ueber das Vorkommen und die physiologische Verwendung der Kieselsäure bei den Dicotyledoneen in Botan. Zeit. 1861 No. 16, war schon H. v. Mohl bekannt. Seine zweite Abhandlung erschien in Bot. Zeit. im Jahre 1862 No. 10 unter demselben Titel.

ganischer Verbindungen abweist, der Ansicht, dass diese Substanz einen mehr mechanischen Nutzen im Pflanzenhaushalte hat. Besonders aber meint er, dass die Verkieselung der Rinde den Zweck hat, dass dieselbe beim Gefrieren nicht springt, weil infolge der Verkieselung das Wasser in die Rinde nicht einzudringen vermöge. Für die Gramineen nimmt er die vielfach früher gehegte Vermuthung an, dass hier die Kieselsäure den Zweck hat, die Pflanze tragfähiger für das immer mehr und mehr zunehmende Gewicht der Aehre zu machen.

Sachs[1]) betonte jenen Ansichten gegenüber besonders, dass die Kieselsäure mit der Ernährung im engeren Sinne nichts zu thun habe, schon desshalb, weil sie erst an ausgewachsenen Organen auftritt und dass die Verkieselung nur sehr wenig zur Fertigkeit der Stengel beitrage.

Nach Sachs beruht die Verkieselung der Pflanzenzellen, trotzdem dass dieselben lebendig, ja noch in der Entwickelung begriffen sind, dennoch auf ähnlichen Ursachen wie die der ächten Versteinerungen abgestorbener Zellen. Die Verkieselung ist also ein versteinerungsähnlicher Process, der nur dadurch von den Versteinerungen verschieden ist, dass er ein wenig durch das Leben der Zelle modificirt wird.

Eine Maispflanze, welche er ohne Kieselsäure in Nährstofflösung wachsen liess, erreichte eine Höhe von 7 Fuss. Sie brachte 10 grosse schöne Blätter und einen Kolben mit 42 keimfähigen Körnern hervor. Die Pflanze war nicht von den anderen in Töpfen cultivirten ver-

---

[1]) Flora 1862 l. c.

schieden. Die Aschenanalyse hat im Stengel 0,0005 gr. Kieselsäure, in den Blättern 20 Milligramm ergeben[1]), so dass die Pflanze im Ganzen 0,7 Procent in ihrer Asche enthielt, während der gewöhnliche Mais 18—23 Procent derselben enthält.

Daraus ergab sich: erstens dass die Kieselsäure zur Festigkeit von Stamm und Blätter nicht nöthig ist, „denn wir hätten sonst annehmen müssen, dass es dabei gleichgültig ist, ob die Pflanze 30 oder 900 Milligramm Kieselsäure enthält" und zweitens, dass diese Substanz auch keine Beziehung zur Ernährung der Pflanzen haben kann; „denn ein Stoff, der auf den dreissigsten Theil seines Proportionalwerthes hinabsinken kann, ohne die Ernährung zu beeinträchtigen, kann keine wesentliche Rolle bei der Ernährung spielen."

Als einen weiteren Beweis der Entbehrlichkeit dieser Substanz erwähnt er auch die Nichtexistenz der Kieselsäure in jungen Pflanzenorganen, und der Gegenwart derselben in Organen, welche keinen Antheil mehr an der Ernährung oder an dem Gestaltungsprocess nehmen (Epidermisszellen, Gefässe); ferner legt er Gewicht auf eine von Mohl erwähnte Beobachtung, dass die Verkieselung, indem sie an den Haaren beginnt, kreisförmig, ohne Rücksicht auf die Zellengrenzen, fortschreitet.

Aus allen diesen Gründen ist Sachs, ohne behaupten zu wollen, dass die Kieselsäure gar keinen Nutzen

---

[1]) Diese kleine Menge von Kieselsäure kann nach Sachs von den Wandungen des Glasgefässes abstammen. Dass aber die Pflanzen auch an krystallisirten Silicaten und an Glasgegenständen mit der Zeit auflösend wirken, ist auch experimentell nachgewiesen. Vogel (Die Aufnahme der Kieselerde durch Vegetabilien. Erfurt 1882) hat 3 Jahre

für die Pflanzen habe, der Ansicht, „dass dieser Stoff nicht in die Reihe der Nährstoffe gehört, — dass also die Verkieselung als ein nebenher laufender Process zu betrachten ist, der zwar von den Verhältnissen in den lebenden Pflanzen beeinflusst wird, der aber keinen wesentlichen Einfluss auf die Vegetation ausübt."

Nach Graham hat die Kieselsäure die Eigenschaft, wie alle Colloidsubstanzen, zu gelatiniren, zu gerinnen. Sie ist, obwohl löslich in Wasser, gleich diesen Substanzen schwach mit ihrem Lösungswasser verbunden und kann ihm durch die geringsten Affinitäten entzogen werden; ja sie geht bei unveränderten Verhältnissen aus dem gelösten Zustand in den geronnenen von selbst über. Zu den Veränderungen, deren sie und ihre colloidalen Verbindungen fähig sind, ist immer längere Zeit nöthig, wie dies ein charakteristisches Kennzeichen der organischen Processe ist. Gegen diffundirende Krystalloidsubstanzen verhält sie sich ähnlich, wie die colloidalen organischen Stoffe, wie Stärkekleister, Eiweisslösung u. s. w. Sie ist endlich fähig, drei verschiedene molekulare Zustände anzunehmen, den eigentlich gelösten und den geronnenen, aus denen sie langsam in den krystallinischen übergehen kann.

Diese Eigenschaften der Kieselsäure, sowie die Beobachtungen von H. v. Mohl über Biegsamkeit der verkieselten Zellmembranen, schienen sogar die Annahme

---

hindurch Waizen zwischen genau gewogenen Stücken geschliffenen Bergkrystalls, einer Glasplatte, einer Achatplatte und zwischen anderen Silicaten wachsen lassen. Sämmtliche Stücke nun haben merklich an ihrem ursprünglichen Gewicht verloren und zwar die Glasplatte beträchtlicher als der Bergkrystall und die übrigen Silicate.

zuzulassen, dass die Kieselsäure nicht immer in eigentlich festen, sondern in dem colloidalen Zustande zwischen die Zellhautmoleküle eingelagert ist. Bei diesen Aehnlichkeiten dieses mineralischen Stoffes mit den organischen Substanzen kann es nach Sachs kaum auffallen, wenn wir finden, dass die Kieselsäure unter Umständen von der Pflanze so benutzt wird, wie ein organischer oder organisirbarer Stoff.

Es kann hier nicht unerwähnt bleiben, dass durch die Versuche von Sachs auch eine andere Frage von praktischer Wichtigkeit ihre Lösung gefunden hat, nämlich das sogenannte Lagern des Getreides, welches von Vielen durch Mangel an Kieselsäure erklärt worden war. In seiner experimentellen Physiologie [1]) hat Sachs das unrichtige dieser Ansicht nachgewiesen, indem er die Schwäche der Halme dem Lichtmangel zuschrieb, und das ganze Phänomen als ein örtliches Etiolement der unteren Internodien, wegen des dichten Beisammenstehens der Pflanzen betrachtet hat. Pierre [2]) hat später durch chemische Analyse bewiesen, dass das gelagerte Getreide siliciumreicher als das nicht gelagerte sei. Sorauer [3]) hat geglaubt, dass manchmal auch andere Ursachen des Lagerns zu finden sind, z. B. Beschädigung der Internodien durch Frühlingsfröste etc. Die Arbeiten aber von Ludwig Koch [4]) lassen gar keinen Zweifel über die Sachs'sche Ansicht, denn er hat Ueberverlängerung der unteren Partien der Halme

---

[1]) Exp. Phys. 1865 p. 150.

[2]) La silice et la verse des blés; Compt. rendus. Bd. 63. S. 374.

[3]) Botan. Jahresbericht 1873 p. 521.

[4]) Abnorme Aenderungen wachsender Pflanzenorgane.

gefunden bei ungenügender Verdickung und Verholzung der Zellen, besonders der Gefässbündelscheiden.

Ausser diesen umfassenden anatomisch-physiologischen Untersuchungen haben wir auch zwei chemische Arbeiten zu erwähnen, von A. Ladenburg und von W. Lange, welche die Natur der Kieselsäure-Verbindungen in den Pflanzen chemisch zu ermitteln versucht haben.

Nach A. Ladenburg[1]) ist es wahrscheinlich, dass die Kieselsäure-Verbindungen, welche in der Asche der Pflanzen sich finden, oder wenigstens ein Theil dieser Kieselsäure, erst durch die Verbrennung siliciumorganischer Verbindungen entstanden war. Zu diesem Schluss kommt er desshalb, weil der heutige Standpunkt der Pflanzenphysiologie einer solchen Hypothese nicht ungünstig sei, denn einerseits habe man keine Erklärung für die Bedeutung der Kieselsäure in den Pflanzen, und andererseits sei festgestellt, dass gewisse Pflanzen auch ohne Silicium einer gedeihlichen Entwicklung fähig sind. Diese Thatsachen seien nach Ladenburg erklärlich, sobald das Silicium in den Pflanzen als Vertreter des Kohlenstoffes erscheint. Das Vorkommen von Kieselsäure in lebenden Pflanzen steht mit der obigen Annahme nicht in Widerspruch; dieselbe könnte nach Ladenburg als Zersetzungsprodukt von kohlenstoffhaltigen Siliciumverbindungen aufgefasst werden. Schwierig freilich scheint die Bildungsweise solcher Körper aus den im Boden vorkommenden Silicaten. Man könnte nach Ladenburg

---

[1]) Berichte der Chem. deutsch. Gesellschaft 1872 Bd. 5 p. 568. Ueber die Natur der in der Pflanze vorkommenden Siliciumverbindungen.

versucht sein, die Pflanzen mit einem Apparat zur Reduction der Kieselsäure auszustatten, wie sie ihn nachgewiesenermassen für die Reduction der Kieselsäure besitzen.

Von diesen Ansichten ausgehend hat Ladenburg versucht auch experimentell die vermutheten Siliciumverbindungen in den verkieselten Pflanzen zu finden. Zu dem Zwecke untersuchte er die Asche des gewöhnlichen und schwedischen Filtrirpapiers, aber er gelangte zu keinem für oder gegen seine Meinung sprechenden Resultat; auch hat er kein Resultat bekommen von der Untersuchung des Equisetum arvense. Einige Thatsachen, die er gefunden hat, betrachtet Ladenburg selbst nach keiner Seite hin als beweisend, und überlässt, wie er sagt, anderen Forschern die weitere Untersuchung.

Glücklicher als Ladenburg war auch W. Lange nicht[1]). Indem er den wässrigen Auszug des Equisetum hiemale untersuchte, kam er zu dem Schlusse, dass hier Kieselsäure in keiner anderen Form als in der einer sehr verdünnten Kieselsäurehydratlösung enthalten sein könne, als welche es auch von vielen Pflanzen aufgenommen wird, wenn man nicht annehmen will, dass die Lösung der fraglichen Silicate in Säuren (die er angewandt hat) eine Zersetzung derselben nicht einschliessen würde. Was nun eine andere Frage anbelangt, die er sich zu lösen vorgenommen hat, welches nämlich die Aschenbestandtheile sind, welche man von der Cellulose alter pflanzlicher Gewebe nicht entfernen kann, so fand er,

[1]) Berichte der deutsch. Chem. Gesellschaft. Bd. 11. A. 1878: Ueber die Natur der in den Pflanzen vorkommenden Siliciumverbindungen.

dass die Kieselsäure in erster Linie und dann das Eisen ein so zähes Haften an der Cellulose zeigen, dass auch nach vollständiger Auflösung derselben in Kupferoxydammoniak diese unorganischen Bestandtheile ganz gleichmässig vertheilt waren. Desshalb kommt Lange zu der Vermuthung, „dass die Menge von Aschenbestandtheilen in einer so gut wie unlöslichen Form in den Membranen sich vertheilt finden müsse, und dass sie beim Lösen derselben in der schleimigen Flüssigkeit suspendirt bleibt."

Endlich hat Lange auch Diffusions-Versuche mit demselben Equisitensaft angestellt, deren Resultat war, dass dieser Saft ein viel bedeutenderes Diffusionsvermögen hat, als es Graham gefunden. Ob aber dieses Vermögen der Kieselsäure allein oder auch den anderen in saurer Lösung sich befindenden Verbindungen zuzuschreiben ist, überlässt auch er späteren Untersuchungen zu entscheiden.

Das sind nun in gedrängter Uebersicht die in letzter Zeit wichtigsten Arbeiten über die Erscheinung der Verkieselungen im Pflanzenreich. Aus dieser Uebersicht aber tritt es klar genug hervor, dass in Vergleich mit den anderen Mineralsubstanzen die Kieselsäure manches Eigenartige darbietet, und dass sie desshalb unsere Aufmerksamkeit mehr in Anspruch nehmen sollte, als es bis jetzt geschehen ist.

Indem ich nun unternahm, gewisse Fragen zu lösen, hielt ich es für wichtig, zuerst zu ermitteln, ob die schon verkieselten Zellen noch wachsthumsfähig sind. Die experimentelle Entscheidung dieser Frage konnte nach meiner Meinung Licht auch auf viele andere dunklere Punkte werfen, besonders aber sollte sie über die Richtigkeit der Ansicht von Wicke und Sachs, dass nur die ausgewachsenen Zellen sich verkiesel., entgegen der von Mohl, entscheiden.

Bevor ich aber zur Beantwortung dieser Frage übergehe, halte ich für nothwendig, Einiges über die Methode vorauszuschicken, die ich angewendet habe, um die Verkieselungen zu untersuchen.

Methode der Untersuchung.

Wenn man die verschiedenen Methoden zur Nachweisung der Kieselskelete bei den Pflanzen genauer prüft, kann man bemerken, dass zwar alle gut sind für Pflanzen, welche eine dicke und starke Verkieselung besitzen, nicht aber auch für Pflanzen, bei welchen die Verkieselung weniger stark ist. Ausserdem aber kann man, indem alle Methoden auf der Verbrennung der organischen Substanz zur Hinterlassung der Kieselskelete beruhen, bei diesem Verfahren einige Uebelstände nicht vermeiden. H. v. Mohl behandelte die Objecte zuerst mit Schultz'scher Flüssigkeit bis zur Entfärbung derselben, dann kochte er sie mit destillirtem Wasser aus, zog sie noch einmal durch Alkohol aus und verbrannte sie endlich auf Platinblech bis zur Hinterlassung einer blendendweissen Asche. Indem er nun die Asche unter das Mikroskop in einen Wassertropfen brachte, entfernte er, wie er meinte, durch Salzsäure die anderen Mineralsubstanzen.

Durch diese Methode aber, welche sonst auch zeitraubend ist, wenn man viele Pflanzen zu untersuchen hat, kann man nicht sicher sein, dass die Salze vor der Verbrennung ganz entfernt waren, denn es ist schon bekannt, mit welcher Zähigkeit manche unorganische Substanzen mit der Zellmembran verbunden sind. Wenn man nun zur Einäscherung schreitet, kann man nicht von vornherein die Möglichkeit ausschliessen, dass mehr oder weniger geringe Quantitäten von unorganischen Salzen (Kalk-Magnesia-Salzen) bei der grossen Hitze mit Kiesel-

säure in Verbindung treten und dadurch Glasbildungen hervorrufen.

Eine andere von Sachs angewandte Methode besteht darin, dass man Stücke der untersuchten Blätter auf Platinblech mit concentrirter Schwefelsäure über einer Gasflamme bis zur Bildung von weisser Asche verbrennt. Aber auch gegen diese Methode, welche sonst ausgezeichnet bei Demonstrationen zur schnellen Fertigung von Präparaten ist, kann man dieselben Einwände machen, welche oben gegen die von H. v. Mohl vorgebracht worden sind: die Möglichkeit nämlich des Zusammenschmelzens der Kieselsäure mit anderen unorganischen Bestandtheilen und die Beeinträchtigung der dünnen verkieselten Membranen durch die enorme Wärme der Flamme, die ja bis zur vollständigen Verbrennung der organischen Substanz auch ein darüber gelegtes Deckgläschen schmelzen kann. Diese Methode kann man modificiren, wenn man das Blatt so lange in concentrirter Schwefelsäure liegen lässt, bis es ganz verkohlt ist. Dann kocht man es mit destillirtem Wasser zur Entfernung der löslichen Salze aus und nach vollständiger Austrocknung derselben verbrennt man es auf Platinblech. Doch hat auch diese Methode ihre practischen Uebelstände.

Als die zweckmässigste Methode habe ich die von Pollender vorgeschlagene erachtet[1]). Die von ihm angewendete Chromsäure übt, wie bekannt, eine zerstö-

---

[1]) Botan. Zeitung 1862. Nr. 46, 47. Chromsäure, ein Lösungsmittel für Pollenin und Cutin, nebst einer neuen Untersuchung über das chemische Verhalten dieser beiden Stoffe.

rende Wirkung auf die Cuticula. Indem sie nun auch die anderen Salze auflöst, ohne die Kieselsäure anzugreifen, war dieselbe von vornherein als ein vortreffliches Mittel zur Fertigung pflanzlicher Kieselskelete anzusehen, wie es ja Pollender zuerst empfohlen hat.

Aber auch mit dieser Methode stösst man auf einige Uebelstände, und zwar hauptsächlich desshalb, weil man bei dicken Stücken lange warten muss, bis die organische Substanz ganz zerstört wird. Indem ich nun aber die Chromsäure mit Schwefelsäure vereinigt habe, glaube ich, ein besseres Mittel zur Präparation von Kieselskeleten gefunden zu haben.

Die Kieselskelete nun werden folgendermassen hergestellt: Das zur Untersuchung zu verwendende Blatt- oder Rindenstück wird zuerst mit concentrirter Schwefelsäure in einem Becherglas behandelt, bis es ganz schwarz wird, oder wenigstens, wenn es sich um ein sehr zartes Blatt handelt, bis es seine Farbe verliert und halbdurchsichtig wird. Dann giesst man eine 20procentige wässrige Lösung von Chromsäure hinein. Sofort entsteht ein heftiges Aufbrausen der Flüssigkeit und zugleich damit löst sich das Blatt allmähig auf. Die Quantität der Chromsäurelösung richtet man nach der Grösse des Blattstückes und der Quantität der Schwefelsäure ein. Sobald nun das Aufbrausen aufhört, füllt man das ganze Becherglas mit destillirtem Wasser und lässt es eine Stunde stehen, bis alle Kieselskelete am Boden des Gefässes sich niedergeschlagen haben. Dann giesst man das übrige Wasser vorsichtig ab und untersucht den pulverigen Bodensatz mikroskopisch. Wenn der Niederschlag noch von Chromsäure dunkel gefärbt erscheint,

verdünnt man ihn noch einmal mit destil. Wasser und lässt denselben noch eine Zeit lang stehen.

Durch diese Methode kann man sicher sein, dass die Kieselskelete rein von anderen Beimischungen sind, und dass die Wärme, welche sich bei der Mischung von beiden Säuren und bei der Verbrennung der organischen Substanz entwickelt, keinen Einfluss auf die Form der verkieselten Zellmembranen ausübt; denn sehr selten steigt sie über 100° C. Da aber die Oxydation sehr energisch die organischen Gebilde angreift, so wird der Zusammenhang der Zellen gelöst und wir bekommen meistentheils kleine Stücke von Kieselskeleten und isolirte Zellen. Nur in Fällen, wo die Verkieselung eine starke ist, kann man auch grosse zusammenhängende Platten bekommen (Equisetum, Dorstenia etc.). Endlich erwähne ich, dass man die Methode auf dem Objectglas ausführen kann, wenn man einen Tropfen Schwefelsäure und dann Chromsäure auf den Objectträger bringt und das Object vorsichtig abspült [1]).

Mit Anwendung dieses Verfahrens versuchte ich die oben genannte Frage über das Wachsthum der verkieselten Organe zu lösen und ich glaube aus meinen Beobachtungen im Stande zu sein, die Wachsthumsfähigkeit solcher Organe zu verneinen.

Als vortreffliche Beobachtungsobjecte sind mir die Haare erschienen; einerseits weil sie am frühesten bei

---

[1]) Dieselben Resultate bekommen wir, wenn wir die Blattstücke zuerst mit Chromsäure imbibiren lassen und dann Schwefelsäure zugiessen.

der Entwickelung der Blätter auftreten, andererseits weil die Verkieselung bei den meisten Pflanzen von ihnen ihren Ausgang nimmt. Die Haare nun von Deutzia scabra, welche zuerst von Schnitzlein und dann von H. v. Mohl untersucht wurden, sind als besonders geeignet zu dem Zweck anzusehen. Die Deutziahaare sind, wie bekannt, einzellig, sternförmig verzweigt, drei- bis sechsstrahlig auf der oberen, neun- bis zehnstrahlig auf der unteren Blattfläche [1]). Der erste Vergleich von Haaren verschiedener ungleich grosser Blätter hat mir Folgendes gezeigt: Die verkieselten Haare von einem 1 cm langen Blatte haben in den meisten Fällen dieselbe Grösse wie die Haare von 6 cm langen Blättern. Diese Haare aber zu messen und zu vergleichen war zwecklos; denn ihre Form und Grösse variirte bedeutend auch auf einer und derselben Blattfläche. Eines aber kann ich bei den Deutziahaaren als von grossem Werthe für meine Untersuchung betrachten, dass sehr junge Blätter, kleiner als 5 Millimeter, gar keine Verkieselung der Haare gezeigt haben, und zweitens, dass sowohl die wenigstrahligen, wie die mehrstrahligen Haare bei Blättern von 1 cm Länge so zahlreich und so dicht neben einander waren, dass sie die Oberfläche des Blattes mit ihren verflochtenen Strahlen ganz bedeckten. Bei solchen Blättern hatten die Haare schon dieselbe Länge wie bei ausgewachsenen, verkieselten, und bei solchen Blättern waren die meisten Haare verkieselt. Da ich nun bei Blättern kleiner als 5 Millimeter keine im Ganzen verkieselten Haare zu finden vermochte, sondern nur in seltenen Fäl-

[1]) De Bary: Vergl. Anatomie. S. 64.

len Spitzen von Strahlen, oder das gewölbeförmige Centrum des Haares schwach verkieselt war, so betrachte ich es als ausser Zweifel liegend, dass zwar die Haare im frühesten Alter der Deutzia-Blätter zu verkieseln beginnen, dass aber bei diesem Alter die Haare selbst vor der Verkieselung ihrer Wände schon ihre vollste Entwickelung erlangt haben. Später, wenn die Zellen der Blattoberfläche sich weiter vergrössern, entfernen sich auch die Haare von einander, behalten aber ihre bereits erreichte Grösse bei und nehmen nur an Dichtigkeit der Kieselsäureablagerung innerhalb ihres Lumens zu. Dass H. v. Mohl die Verkieselung von sehr jungen Organen gesehen hat, wird durch diese Beobachtung bestätigt. In gar keinem Falle war es mir möglich, verkieselte Parenchymzellen oder Gefässe bei jungen frischen noch wachsthumsfähigen Deutzia-Blättern zu finden.

Um mich aber genauer von der Richtigkeit der Ansicht des Nichtmehrwachsens der verkieselten Haare zu überzeugen, war es nothwendig, ein und dasselbe schon verkieselte Organ in weit abstehenden Zeitperioden seiner Entwicklung zu verfolgen. Da sich nun einer solchen Untersuchung erhebliche Schwierigkeiten in den Weg stellten, habe ich folgendes Verfahren versucht: Nachdem ich die Länge und Breite von verkieselte Haare tragenden jungen Blättern gemessen, schnitt ich die Hälfte derselben neben der Mittelrippe ab und untersuchte deren verkieselte Haare mittelst der Chrom-Schwefelsäure. Die andere Hälfte liess ich weiter wachsen, bis sie drei- bis vierfach so gross war und dann verglich ich die nach derselben Methode präparirten Haare dieser Hälfte mit

denen der ersten. Die Vergleichung geschah durch Zeichnungen, die ich durch die Camera lucida von Präparaten beider Blätterhälften entworfen habe. Obschon nun auch durch dieses Verfahren eine Schwierigkeit nicht zu beseitigen ist, dass die Haare nämlich eines und desselben Blattes nicht die gleiche Länge haben, so ist es mir doch möglich geworden, bei einigen Pflanzen das Nichtwachsen der verkieselten Haare zu constatiren. Einige Beispiele werden dazu dienen diese Behauptung als richtig nachzuweisen.

Ein Blatt von Morus rubra L. hatte am 28. Juni 5 cm Länge und 1,7 Breite von der Mittelrippe gemessen. Die abgeschnittene Hälfte des Blattes hatte nur schwach verkieselte Haare, welche nur bis zu ihrer Mitte oder nur an den Spitzen verkieselt waren. Verkieselte Zellen oder andere Kieselbildungen waren gar nicht zu sehen. Am 23. August hatte die andere weiter gewachsene Blatthälfte eine Länge von 7 cm und eine Breite von 3 cm von der Mittelrippe aus erreicht. An dieser Blatthälfte war Folgendes zu finden: Es waren stark verkieselte langgestreckte oder gebogene Haare von verschiedener Grösse, sowie eine Menge konischer Haare mit breiter Basis bemerkbar, in welcher formlose Kieselablagerungen vorhanden waren. Ausserdem waren Gruppen von Epidermis- oder selten auch von Parenchymzellen zu sehen, welche unregelmässig verkieselte Scheiben bildeten, sowie eine grosse Menge von Cystolithenstielen, die auf der äusseren Wand der Epidermiszellen untrennbar angeheftet waren. Die Haare der Augustblatthälfte im Ganzen genommen waren weder grösser noch breiter als diejenigen der Juniblatthälfte.

Die Haare von Urtica haben mir einen noch klareren Beweiss des Aufhörens ihres Wachsthums, wenn sie verkieselt sind, dargeboten. Ein ganzes Blatt von Urtica dioica, 9 Millimeter lang, ist am 9. Juni abgeschnitten worden. Das gegenüberstehende Blatt von ganz demselben Aussehen an Frische, Form und Grösse ist bis Ende August in seinem Wachsthum ungestört gelassen worden. Am ersten Blatte habe ich im Allgemeinen wenige Haare mit drei Formen gefunden. Einige davon waren gerade und hatten spitzige Enden, andere waren ein wenig umgebogen und hatten eine konische Basis, noch andere endlich, aber nur sehr spärliche, waren gerade und hatten ein schief aufgesetztes Köpfchen an ihrem oberen Ende. Am zweiten Blatt, welches Ende August 3,5 lang war, waren alle drei Arten der Haare zahlreich, ihre Verkieselung war stärker, ihr Glanz war heller und ihre Wände waren auffallend verdickt. Bei einer Anzahl von Haaren dieses Blattes war die konische Basis deutlicher zu sehen; sie war aber nicht breiter als die der ähnlichen Haare des ersten Blattes. Die kopftragenden Haare waren ebenfalls stärker verkieselt, am meisten ihre obere Hälfte, bei welcher öfters die verdickten Wandungen sich scharf abhoben von den dünnen Wänden der unteren Hälfte. Zwischen den spitzigen Haaren waren zwar auch einige viel grössere mit konisch-breiter Basis, deren aber waren auffallend wenig an Zahl und sie hatten sehr dünne Wandungen. Die kleinsten, sowie die grösseren von den spitzigen Haaren desselben Blattes, verglichen mit den anderen ähnlichen des anderen Blattes, waren von derselben Länge und Breite. Das Auffallende aber in diesem Fall ist die Thatsache, dass

die kopftragenden Haare an beiden Blättern gleich lang und gleich breit waren. — Dass auch einige von den spitzigen Haaren länger waren, darf nicht befremden, denn es ist leicht begreiflich, dass dieselben mehr als die anderen gewachsen waren, da die Verkieselung erst spät eintrat.

Dass also die Haare in einem späteren Alter der Blätter dieselben bleiben wie in dem frühesten Stadium ihrer Entwicklung, dieser Umstand veranlasst uns zu der Annahme, dass die Verkieselung der Haare nach dem vollendeten Wachsthum ihrer Wandungen beginnt. Wenn das Gegentheil möglich wäre, hätten wir die kleinsten Haare des jungen Blattes im Ganzen genommen kleiner finden müssen, als die gleich grossen des schon ausgewachsenen.

Dasselbe Resultat habe ich auch an den Haaren von Ficus Carica, F. Sycomorus, Dorstenia-Boehmeria-Arten, Laportea gigas, Humulus, Loasa vulcanica u. a. bekommen.

Zur Unterstützung meiner Wahrnehmung von dem Nichtmehrwachsen verkieselter Organe kommt auch die folgende, schon oben flüchtig erwähnte Beobachtung, dass in keinem Falle bei den ersten jungen Blättern oder deren Hälften verkieselte Epidermis- oder Parenchymzellen zu finden waren. Nur bei Humulus Lupulus habe ich einmal solche um die konischen Haare bei einem Blatte von 2 cm Länge gefunden, aber als ich die andere Hälfte des Blattes nach 20 Tagen mass, war sie nicht eine Linie länger und breiter geworden. Auch ein örtlicher Stillstand in dem Wachsthum der Blätter oder der Rinde kann eine Verkieselung hervorrufen, und so

kann ich als örtliche Verkieselungen auch die Gruppen von Zellen betrachten, die ich in Buchenrinde gefunden habe. Verkieselung der ganzen Rinde, wie sie Wicke erwähnt, konnte ich nicht finden.

Als Nebenbeobachtungen bei meinen obigen Untersuchungen kann ich noch Folgendes als Zusatz zu den von H. v. Mohl beobachteten Fällen der Verkieselung erwähnen.

Bei einigen Pflanzen, z. B. Broussonetia papyrifera fand ich die konischen Haare in ihrer oberen Hälfte mit einer körnigen, glänzenden Masse erfüllt, während ihre untere Hälfte mit einer braunen, ebenfalls körnigen Masse erfüllt war. Die Anwendung der Schwefelsäure an frischen Schnitten hat unter Entwicklung von Blasen eine grossmaschige glänzende Masse innerhalb der verkieselten Haare hinterlassen, die ebenfalls aus Kieselsäure bestand. Bei Morus rubra waren ausser den ganz verkieselten Spitzen und ganz von Kieselmasse erfüllten Haaren auch Haare zu sehen, deren konische Basis mit dieser körnigen Masse erfüllt war und unter deren konischen Basaltheil ein traubenförmiger Cystolithenkörper in eine grosse Zelle hineinragte. Bei einigen dieser Haare entwickelten sich nur wenige Luftblasen durch Schwefelsäure, bei anderen gar keine.

In der Rinde der Rothbuche habe ich manchmal kleine Gewebspartien beobachtet, in deren verkieselte Zellen

noch rhomboedrische verkieselte Abdrücke von Krystallen eingeschlossen waren, deren Inhalt aufgelöst war.

Bei den Cystolithen vieler Pflanzen, meistens der Ficus- und Urtica-Arten, habe ich eine andere Art Verkieselung gefunden, die meines Wissens noch von Niemanden beobachtet worden ist. Auf den Klumpen der Kalksalze nämlich lag eine Schicht von Kieselsäure, eine verkieselte Schale, die ganz genau die Erhabenheiten und Vertiefungen der Cystolithen nachbildete. Wenn ich durch Säuren den Inhalt der Cystolithen auflöste, blieb immer bei den oben genannten Pflanzen ein hohles verkieseltes Skelet übrig, das die runde oder birnförmige Form der Cystolithen genau wiedergab. Diese Cystolithenschalen habe ich nach der Behandlung mit Chromschwefelsäure wieder mit conc. Schwefelsäure gekocht, ohne dass ich ein Auflösen derselben beobachtete. In einigen Fällen blieb auch der verkieselte Stiel an dieser hohlen Schale angeheftet, oder es blieb zusammenhängend mit der verkieselten äusseren Zellwand der Cystolithenzelle, so dass Zellwand und Stiel und Cystolithenschale ein zusammenhängendes Ganze bildeten (Ficus Sycomorus). Bei der letztgenannten Pflanze kann man, aber nur selten, Cystolithen finden, bei welchen die Säuren keine merkbare Veränderung hervorrufen, und welche desshalb als ganz aus Kieselsäure bestehend zu betrachten sind.

Cystolithenschalen, wie ich sie eben beschrieben habe, wurden bei Pilea-Arten gefunden, die aber langgestreckt und halbmondförmig waren.

Diese Cystolithenschalen sind auch bei frischen Schnitten leicht von dem aus Kalksalzen bestehenden

Inhalt der Cystolithen zu unterscheiden. Die Kieselsäure bildet nämlich eine halbe Kugelschale um den Cystolithen, die nach der Einwirkung von Säuren oder durch die Chrom-Schwefelsäure-Methode deutliche Schichtungen oder Streifungen zeigt.